

#2

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 19 DEC 2003	
WIPO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 55 915.5

Anmeldetag: 29. November 2002

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, München/DE

Bezeichnung: Analog-Digital-Wandler

IPC: H 03 M 1/36

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wachter

Zusammenfassung

Analog-Digital-Wandler

- 5 Die Erfindung betrifft einen Analog-Digital-Wandler. Der Analog-Digital-Wandler zum Umwandeln eines zu digitalisierenden Signals in ein digitalisiertes Signal enthält eine Mehrzahl von Komparatoren, von denen jeder einen ersten und einen zweiten Eingang und einen Ausgang aufweist, an welchem Ausgang das
- 10 digitalisierte Signal bereitstellbar ist. Ferner ist für jeden Komparator ein Impedanz-Netzwerk vorgesehen, das mit zumindest einem Eingang des Komparators gekoppelt ist, wobei ein jeweiliges Impedanz-Netzwerk zwischen den zugehörigen Komparator und das zu digitalisierende Signal geschaltet ist und zwischen den zugehörigen Komparator und ein erstes elektrisches Referenzpotential geschaltet ist. Die Impedanz-Netzwerke sind derart eingerichtet, dass die Komparatoren in der Nähe ihrer spezifischen Entscheidungsschwelle im Wesentlichen auf denselben Arbeitspunkt gebracht sind.
- 20

Beschreibung

Analog-Digital-Wandler

5 Die Erfindung betrifft einen Analog-Digital-Wandler.

Ein Analog-Digital-Wandler (ADC) ist eine elektronische Schaltung beziehungsweise ein elektronischer Baustein, der ein analoges Signal in ein digitales Äquivalent umwandelt. Ein ADC setzt einen wertkontinuierlichen Spannungswert in eine Binärzahl um, die angibt, wie oft ein bestimmtes Spannungsintervall innerhalb des Spannungswertes enthalten ist.

15 Analog-Digital-Wandler (ADCs) werden an Schnittstellen zwischen analogen Signalen und digitaler Datenverarbeitung eingesetzt. Wesentliche Leistungsmerkmale eines ADCs sind die erreichbare Auflösung des Wandlers (gemessen in Bit) sowie die Umwandlungsgeschwindigkeit (gemessen in Samples pro Sekunde: Sa/s). Insbesondere im Bereich der Kommunikationstechnik besteht ein Bedarf an sehr schnellen Wandlern, d.h. Wandler mit hohen Umwandlungsraten (z.B.: $>1 \text{ GSa/s}$). Die Auflösung bekannter Wandler liegt üblicherweise zwischen 5 Bit und 8 Bit, und die Schaltungsarchitektur entspricht einer Flash-Wandler-Architektur.

25

25 In Fig.1 ist ein aus dem Stand der Technik bekannter Analog-Digital-Wandler 100 dargestellt.

Der Analog-Digital-Wandler 100 weist eine Vielzahl von
30 Komparatoren 101 auf, die jeweils einen ersten Eingang 102, einen zweiten Eingang 103 und einen Ausgang 104 aufweisen. An dem ersten Eingang 102 eines jeden Komparators ist ein zu digitalisierendes Signal 108 V_{in} in Form eines elektrischen Spannungssignals bereitgestellt. Zwischen einem jeweiligen
35 zweiten Eingang 103 eines Komparators 101 und einem positiven Referenzpotential 106 V_{ref+} bzw. einem negativen Referenzpotential V_{ref-} ist eine für jeden der Komparatoren charakteristische Anzahl von ohmschen Widerständen 105

geschaltet. Beispielsweise ist zwischen dem zweiten Eingang 103 des gemäß Fig.1 obersten Komparators 101 und dem positiven Referenzpotential 106 ein einziger Widerstand 105 geschaltet, zwischen dem zweiten Eingang 103 des gemäß Fig.1 zweit obersten Komparators 101 und dem positiven Referenzpotential 106 V_{ref+} sind zwei ohmsche Widerstände 105 geschaltet, usw. Anschaulich wird mittels des Spannungsabfalls an den zwischen dem Referenzpotential 106, 107 und dem zweiten Eingang 103 eines jeweiligen Komparators 101 geschalteten ohmschen Widerständen 105 das an dem zweiten Eingang 103 anliegende Potential gemäß Fig.1 von oben nach unten stufenweise verringert, so dass ein Vergleichsergebnis an den Ausgängen der Komparatoren 101 eine Abfolge von Ausgabewerten mit dem logischen Wert "1" und nachfolgend eine Abfolge von Ausgabewerten mit dem logischen Wert "0" liefert. Dieses digitalisierte Ausgabesignal wird als Thermometercode bezeichnet, wobei die Anzahl der Komparatorausgänge 104, an denen ein logischer Wert "1" anliegt, ein digitalisiertes Maß für den Wert des zu digitalisierten Signals 108 darstellt.

Bei der in Fig.1 gezeigten Schaltung eines Analog-Digital-Wandlers 100 gemäß dem Stand der Technik vergleichen die n Komparatoren 101 die Eingangsspannung V_{in} 108 mit Referenzspannungen $V_{ref,i}$, die mittels des Widerstandsnetzwerkes aus Widerständen 105 generiert werden. Das Widerstandsnetzwerk ist üblicherweise als linearer Spannungsteiler ausgeführt, über welchen eine Referenzspannung V_{ref+} bzw. V_{ref-} angelegt wird. Mittels Verwendens gleicher Widerstände 105 wird die Referenzspannung $V_{ref}=V_{ref+}-V_{ref-}$ gleichmäßig auf die Komparatoren verteilt.

Bekannte Schaltungskonzepte für Analog-Digital-Wandler basieren auf dem sogenannten Flash-Verfahren. Hierbei wird die zu digitalisierende Eingangsspannung V_{in} 108 simultan in die ersten Eingänge 102 der Komparatoren 101 angelegt. Um eine Auflösung von n Bit zu erreichen, sind $2^n - 1$ Komparatoren 101 erforderlich. An dem zweiten Eingang 103 der Komparatoren 101 sind jeweils unterschiedliche Teilspannungen angelegt, die

mittels eines integrierten Referenzwiderstandsnetzwerks aus den Widerständen 105 erzeugt werden. Die Genauigkeit bzw. die Auflösung des Analog-Digital-Wandlers 100 wird im Wesentlichen von der Genauigkeit des Referenzwiderstandsnetzwerkes und durch den Offset der Komparatoren 101 bestimmt. Diese Faktoren werden durch statistische Variationen von Bauteilparametern bestimmt, die mit zunehmender Fläche der Bauteile abnehmen.

Die Umwandlungsgeschwindigkeit eines A/D-Wandlers 100 wird vorrangig von der Architektur und der Geschwindigkeit der Komparatoren 101 bestimmt. Häufig wird eine Abtast-Halte-Schaltung dem eigentlichen Wandlerblock vorgeschaltet, welche die Eingangsspannung zu einem bestimmten Zeitpunkt analog speichert und hält und dem Wandlerblock zur Verfügung stellt. Auch dies begrenzt die Umwandlungsgeschwindigkeit und/oder die Auflösung des Wandlers.

Der Analog-Digital-Wandler gemäß dem Stand der Technik weist eine verbesserungsbedürftige Umwandlungsgeschwindigkeit auf.

Bauartbedingt weist ein Komparator ein definiertes Spannungsfenster auf, innerhalb welchem er optimal funktioniert, d.h., das Vergleichsergebnis seiner zwei analogen Eingangsspannungen in ausreichend kurzer Zeit und mit ausreichender Genauigkeit am Ausgang 104 in digitaler Form bereitstellt. Die Signallaufzeit in einem Komparator 101 hängt jedoch stets von der Eingangsspannung des Komparators 101 ab. Es gibt eine optimale Eingangsspannung, bei der das Vergleichsergebnis in vergleichsweise kurzer Zeit vorliegt. Nähert sich die Eingangsspannung den Grenzen des Spannungsfensters, nimmt die Laufzeit in einem Komparator zu und die Umwandlungsgeschwindigkeit wird reduziert.

Bei dem Analog-Digital-Wandler 100 gemäß dem Stand der Technik arbeitet jeder der Komparatoren 101 bei einer anderen Eingangsspannung. Daher müssen die Komparatoren 101 für einen weiten Eingangsspannungsbereich ausgelegt sein.

Somit liegt bei der beschriebenen Flash-Architektur gemäß dem Stand der Technik prinzipbedingt an jedem Komparator eine andere Eingangsspannung an, so dass jeder Komparator eine andere Signallaufzeit aufweist.

5

Zur Verarbeitung differentieller Signale in einem Analog-Digital-Wandler werden gemäß dem Stand der Technik die beiden zueinander gegenphasigen Eingangssignale jeweils von unabhängigen Komparatoren in ein digitales Signal gewandelt und anschließend digital subtrahiert. Selten werden auch aufwändige Komparatoren mit vier Eingängen verwendet.

10

15

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, einen Analog-Digital-Wandler anzugeben, der gegenüber dem Stand der Technik eine erhöhte Umwandlungsgeschwindigkeit aufweist.

Das Problem wird durch einen Analog-Digital-Wandler mit dem Merkmalen gemäß dem unabhängigen Patentanspruch gelöst.

20

Der erfindungsgemäße Analog-Digital-Wandler zum Umwandeln eines zu digitalisierendes Signal in ein digitalisiertes Signal weist eine Mehrzahl von Komparatoren auf, von denen jeder einen ersten und einen zweiten Eingang und einen Ausgang aufweist, an welchem Ausgang das digitalisierte Signal bereitstellbar ist.

25

Ferner enthält der erfindungsgemäße Analog-Digital-Wandler ein Impedanznetzwerk für jeden Komparator, das mit zumindest einem Eingang des Komparators gekoppelt ist, wobei ein jeweiliges Impedanznetzwerk zwischen den zugehörigen Komparator und das zu digitalisierende Signal geschaltet ist und zwischen den

30

zugehörigen Komparator und ein erstes elektrisches Referenzpotential geschaltet ist. Die Impedanznetzwerke sind derart eingerichtet, dass die Komparatoren in der Nähe ihrer spezifischen Entscheidungsschwelle im Wesentlichen auf den selben Arbeitspunkt gebracht sind.

35

"In der Nähe der spezifischen Entscheidungsschwelle" kann insbesondere bedeuten, dass der Betriebszustand eines Komparators innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs um

die Entscheidungsschwelle herum gewählt ist bzw. einstellbar ist.

5 Eine Grundidee der Erfindung liegt darin, mittels eines eingangsseitigen Widerstandsnetzwerkes die Eingangsspannungen der Komparatoren des Analog-Digital-Wandlers auf nahezu denselben Spannungswert zu verschieben, d.h. die Komparatoren auf demselben Arbeitspunkt zu betreiben. Dadurch sind die im Stand der Technik auftretenden Probleme mit stark
10 unterschiedlichen Signallaufzeiten in den Komparatoren eines Analog-Digital-Wandlers erheblich verringert.

Der erfindungsgemäße Analog-Digital-Wandler verschiebt anschaulich mittels eines Widerstandsnetzwerkes am
15 Wandlereingang die Eingangsspannungen der Komparatoren derart, dass alle Komparatoren auf einem annähernd gleichen Arbeitspunkt betrieben werden können. Somit kann der Komparator auf diesen Arbeitspunkt optimiert werden, so dass der Analog-Digital-Wandler eine erhöhte Umwandlungsgeschwindigkeit
20 aufweist. Aufgrund der auf diese Weise erreichten Synchronisation der Komparatorergebnisse ist zudem eine im Stand der Technik häufig erforderliche Abtast-Halte-Schaltung entbehrlich, wodurch die Leistungsfähigkeit des Analog-Digital-Wandlers zusätzlich verbessert bzw. der Herstellungsaufwand
25 verringert ist.

Anders ausgedrückt ersetzt das erfindungsgemäß zwischen das zu digitalisierende Signal und die Komparatoren geschaltete Widerstandsnetzwerk am Eingang des Wandlers das zum Erzeugen
30 von Referenzspannungen bei bekannten Flash-Wandlern erforderliche Widerstandsnetzwerk zwischen Referenzspannung und Komparatoren. Es kann erfindungsgemäß auf eine stark vereinfachte Komparatorenarchitektur zurückgegriffen werden, was die Umwandlungsgeschwindigkeit des Wandlers zusätzlich
35 verbessert und das Schaltungsdesign in modernen CMOS-Prozessen mit niedrigen Betriebsspannungen erleichtert. Aufgrund der annähernd identischen Eingangsspannungen der Komparatoren sind auch Kalibrier-Techniken ("Autozeroing"-Techniken) zur

Reduktion von beispielsweise herstellungsbedingten Offsets der Komparatoren leicht implementierbar.

5 Ferner ist mit der erfindungsgemäßen Schaltungsarchitektur für den Analog-Digital-Wandler ein echter Rail-to-Rail-Betrieb des Analog-Digital-Wandlers ermöglicht. D.h., dass die analoge Eingangsspannung des Wandlers zwischen einer oberen Betriebsspannungsgrenze und einer unteren Betriebsspannungsgrenze liegen kann. Bei geeigneter
10 Dimensionierung des Impedanznetzwerks kann die Eingangsspannung die Betriebsspannungsgrenzen sogar über-/unterschreiten.

Bei aus dem Stand der Technik bekannten CMOS-Analog-Digital-Wandlern ist oftmals ein gegen unendlich strebender ohmscher
15 Eingangswiderstand gegeben, so dass eine rein kapazitive Eingangsimpedanz vorgesehen ist. Im Gegensatz dazu hat der Eingang des erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandlers aufgrund des Einsatzes eines eingangseitigen Widerstandsnetzwerkes eine Eingangsimpedanz mit ohmschem Anteil. Insbesondere bei Wandlern
20 mit hohen Umwandlungsraten und folglich zumeist hohen Eingangsfrequenzen kann der ohmsche Anteil der Eingangsimpedanz sogar einen Vorteil darstellen. Bei hohen Eingangsfrequenzen ist üblicherweise ohnehin ein Abschlusswiderstand einer als Wellenleiter ausgeführten Eingangsleitung notwendig, um
25 Signalreflexionen zu vermeiden. Die kapazitive Last müsste ohnehin von der Quelle getrieben werden und die kapazitive Last weist bei hohen Eingangsfrequenzen die gleiche Größenordnung auf wie die ohmsche Last. Mit der erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandler-Architektur ist der Abschlusswiderstand in Form
30 des Eingangswiderstandes des Analog-Digital-Wandlers bereits vorhanden.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

35 Der zweite Eingang von zumindest einem Teil der Komparatoren, vorzugsweise von allen Komparatoren, des erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandlers, kann auf ein zweites elektrisches

Referenzpotential gebracht sein. Das zweite elektrische Referenzpotential kann beispielsweise das Massepotential sein.

5 Zumindest ein Teil der Impedanznetzwerke der Komparatoren des Analog-Digital-Wandlers kann einen ersten ohmschen Widerstand und einen zweiten ohmschen Widerstand aufweisen, wobei der erste ohmsche Widerstand zwischen den ersten Eingang von zumindest einem Teil der Komparatoren und das erste elektrische Referenzpotential geschaltet ist. Der zweite ohmsche Widerstand 10 kann zwischen den ersten Eingang von zumindest einem Teil der Komparatoren und das zu digitalisierende Signal geschaltet sein.

15 Zumindest ein Teil der Impedanznetzwerke kann einen Spannungsteiler aufweisen. Der Spannungsteiler kann eine erste Impedanz aufweisen oder von ihr gebildet sein, die zwischen dem ersten Eingang und ein drittes elektrisches Referenzpotential geschaltet ist. Zusätzlich kann der Spannungsteiler eine zweite Impedanz aufweisen oder von ihr gebildet sein, die zwischen dem 20 ersten Eingang und das erste elektrische Referenzpotential geschaltet ist. Die erste Impedanz kann ein dritter ohmscher Widerstand sein und/oder die zweite Impedanz kann ein vierter ohmscher Widerstand sein. Jeder der ohmschen Widerstände kann zum Beispiel unter Verwendung einer oder mehrerer ohmscher 25 Einzelwiderstände realisiert sein. Alternativ kann die erste Impedanz eine erste Kapazität und/oder die zweite Impedanz eine zweite Kapazität sein. Mit anderen Worten kann der Spannungsteiler wahlweise eine kapazitive und/oder eine ohmsche Komponente aufweisen. Jede der Kapazitäten kann zum Beispiel 30 unter Verwendung einer oder mehrerer Kondensatoren realisiert sein.

Das dritte elektrische Referenzpotential kann das elektrische Massepotential sein. Somit kann das Potential an der ersten 35 Impedanz des Spannungswandlers identisch ausgeführt sein wie das elektrische Potential an den zweiten Eingängen der Komparatoren, so dass die Zahl der erforderlichen Referenzpotentiale gering gehalten ist.

Das erste elektrische Referenzpotential kann in ein erstes Teilpotential und in ein zweites Teilpotential aufgeteilt sein, wobei für einen ersten Teil der Komparatoren deren

- 5 Impedanznetzwerk zwischen den ersten Eingang und das erste Teilpotential geschaltet ist, und wobei für einen zweiten Teil, vorzugsweise den restlichen Teil, der Komparatoren deren Impedanznetzwerk zwischen den ersten Eingang und das zweite Teilpotential geschaltet ist. Beispielsweise kann die erste
- 10 Hälfte von Komparatoren des erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandlers an ein positives Referenzpotential als erstes Teilpotential angeschlossen sein, wohingegen der zweite Teil der Komparatoren (z.B. die zweite Hälfte der Komparatoren) an ein negatives zweites Teilpotential angeschlossen sein kann.
- 15 Bei einer ungeradzahligen Anzahl von n Komparatoren können $(n-1)/2$ Komparatoren an das positive Referenzpotential angeschlossen sein, $(n-1)/2$ andere Komparatoren können an das negative Referenzpotential angeschlossen sein, und ein
- 20 Komparator kann an das positive oder an das negative oder an ein anderes Referenzpotential angeschlossen sein.

- Vorzugsweise weisen das zweite und/oder das dritte elektrische Referenzpotential einen Wert zwischen dem ersten und dem zweiten Teilpotential auf, vorzugsweise ist ihr Potential das
- 25 arithmetische Mittel aus dem ersten und dem zweiten Teilpotential. Somit können das zweite und/oder das dritte elektrische Referenzpotential das elektrische Massepotential sein, das erste Teilpotential ein gegenüber dem Massepotential um einen vorgegebenen Wert erhöhtes Potential und das zweite
 - 30 Teilpotential ein um diesen Wert verringertes Potential sein.

- Für zumindest einen Teil der Komparatoren kann eine Kalibrier-Einrichtung vorgesehen sein, die derart eingerichtet ist, dass mit dieser eine Parameterschwankung zwischen unterschiedlichen
- 35 Komparatoren korrigierbar ist.

Herstellungsbedingt können die Komparatoren des Analog-Digital-Wandlers einen unterschiedlichen Offset-Wert aufweisen, welche

Schwankung die Funktionalität des Analog-Digital-Wandlers beeinträchtigen kann. Mittels der Kalibrier-Einrichtung kann diese Schwankung kompensiert werden, so dass eine reibungslose Funktionalität des Analog-Digital-Wandlers ermöglicht ist.

5

Beispielsweise kann die Kalibrier-Einrichtung ein Schaltelement (realisierbar z.B. als Transistorschalter) zwischen dem ersten Eingang eines Komparators und dem Impedanznetzwerk aufweisen, mittels welchen Schaltelements in einem Erfassmodus der erste
10 Eingang des Komparators mit dem Impedanznetzwerk koppelbar ist. Alternativ kann in einem Kalibriermodus der erste Eingang auf ein viertes elektrisches Referenzpotential gebracht werden, wobei basierend auf einem in diesem Betriebszustand resultierenden Signal am Ausgang des Komparators der Komparator
15 mittels der Kalibrier-Einrichtung kalibriert wird.

Das vierte elektrische Referenzpotential kann gleich dem zweiten elektrischen Referenzpotential sein und kann insbesondere gleich dem Massepotential sein. Anschaulich können
20 der erste Eingang und der zweite Eingang in dem Kalibriermodus auf das gleiche elektrische Potential gebracht werden und basierend auf dem resultierenden Ausgangssignal ein möglicher Offset des zugehörigen Komparators eliminiert oder verringert werden.

25

Der Wert von zumindest einem der ersten bis vierten ohmschen Widerstände von zumindest einem Teil der Impedanznetzwerke kann basierend auf dem Kriterium berechnet werden, dass an einem der
ersten Eingänge der Komparatoren ein Signal anliegt, das im
30 Wesentlichen gleich dem zweiten elektrischen Referenzpotential ist. Dieser spezielle Komparator stellt anschaulich diejenige Stelle in der Anordnung von Komparatoren dar, an der die Ausgänge der Komparatoren von einem logischen Wert "1" auf einen logischen Wert "0" (bzw. umgekehrt) übergehen.

35

Der Wert der ersten bis vierten ohmschen Widerstände kann zumindest für einen Teil der Impedanznetzwerke zusätzlich oder alternativ basierend auf dem Kriterium berechnet werden, dass

eine Veränderung des zu digitalisierenden Signals um einen vorgebbaren Wert für zumindest einen Teil der Komparatoren zu einer Veränderung des elektrischen Potentials an deren ersten Eingang um einen im Wesentlichen gleichen Wert führt.

5

Anschaulich werden die Werte der Widerstände derart gewählt, dass die Empfindlichkeit der Komparatorspannung auf die Eingangsspannung für alle Komparatoren im Wesentlichen gleich ist.

10

Ferner kann der Wert von zumindest einem der ersten bis vierten ohmschen Widerstände für zumindest einen Teil der Impedanznetzwerke basierend auf dem Kriterium berechnet werden, dass der ohmsche Ausgangswiderstand von zumindest einem Teil der Impedanznetzwerke im Wesentlichen gleich ist.

15

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel können basierend auf allen drei der zuvor beschriebenen Kriterien optimierte Werte der ohmschen Widerstände der Impedanznetzwerke des erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandlers berechnet werden.

20

Ferner kann bei dem erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandler für zumindest einen Teil der Komparatoren das Impedanznetzwerk eine mit dem ersten Eingang gekoppelte erste Impedanz-Teileinrichtung und eine mit dem zweiten Eingang gekoppelte Impedanz-Teileinrichtung aufweisen. Darüber hinaus kann das zu digitalisierende Signal in ein erstes und in ein zweites zu digitalisierendes Teilsignal aufgeteilt sein. Das erste elektrische Referenzpotential kann in ein erstes Teilpotential und in ein zweites Teilpotential aufgeteilt sein. Die Impedanz-Teileinrichtung kann zwischen den ersten Eingang, das erste zu digitalisierende Teilsignal und das erste Teilpotential geschaltet sein. Die zweite Impedanz-Teileinrichtung kann zwischen den zweiten Eingang, das zweite zu digitalisierende Teilsignal und das zweite Teilpotential geschaltet sein.

25

30

35

Das erste und das zweite zu digitalisierende Teilsignal können differenzielle Signale sein.

Mit anderen Worten kann der erfindungsgemäße Analog-Digital-Wandler insbesondere auch auf solche Schaltungsarchitekturen angepasst sein, bei denen ein zu digitalisierendes

- 5 Eingabesignal in zweifacher Form, d.h. in Form zweier komplementärer Signale, bereitgestellt ist. In einem solchen Fall ist an dem ersten Eingang des Komparators eines der beiden mittels des Impedanznetzwerks modifizierten differenziellen, zu digitalisierenden Signale angelegt, an den zweiten Eingang das
10 andere der beiden differenziellen, zu digitalisierenden Signale, wiederum modifiziert mittels des Impedanznetzwerks.

- Bei dem erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandler kann die erste Impedanz-Teileinrichtung einen ersten ohmschen Widerstand und
15 einen zweiten ohmschen Widerstand aufweisen, wobei der erste ohmsche Widerstand zwischen den ersten Eingang und das erste elektrische Teilpotential geschaltet ist, wobei der zweite ohmsche Widerstand zwischen den ersten Eingang und das erste zu digitalisierende Teilsignal geschaltet ist. Ferner kann die
20 zweite Impedanz-Teileinrichtung einen dritten ohmschen Widerstand und einen vierten ohmschen Widerstand aufweisen, wobei der dritte ohmsche Widerstand zwischen den zweiten Eingang und das zweite elektrische Teilpotential geschaltet ist, und wobei der vierte ohmsche Widerstand zwischen den
25 zweiten Eingang und das zweite zu digitalisierende Teilsignal geschaltet ist. Anschaulich sind die beiden Signalpfade der differenziellen Signale spiegelbildlich zueinander aufgebaut.

- Zwischen dem ersten und dem zweiten Eingang kann mindestens ein
30 fünfter ohmscher Widerstand geschaltet sein. Der fünfte ohmsche Widerstand kann zum Beispiel ein einzelner Widerstand sein oder kann in zwei Teilwiderstände aufgeteilt sein.

- Der fünfte ohmsche Widerstand kann in einen ersten und in einen
35 zweiten Teilwiderstand aufgeteilt sein, wobei ein Anschluss zwischen dem ersten und dem zweiten Teilwiderstand auf ein fünftes elektrisches Referenzpotential, vorzugsweise das elektrische Massepotential gebracht sein kann. Gemäß dieser

Ausgestaltung ist ein Mittelabgriff zwischen den beiden Teilwiderständen vorgesehen, der auf ein definiertes elektrisches Potential gebracht werden kann.

5 Der Analog-Digital-Wandler der Erfindung kann als integrierter Schaltkreis eingerichtet sein, insbesondere auf und/oder in einem Substrat, vorzugsweise einem Halbleitersubstrat (z.B. in Silizium-Technologie), integriert sein.

10 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im Weiteren näher erläutert.

Es zeigen:

15 Figur 1 einen Analog-Digital-Wandler gemäß dem Stand der Technik,

Figur 2 einen Analog-Digital-Wandler gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

20

Figur 3 einen Analog-Digital-Wandler gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Figur 4 einen Analog-Digital-Wandler gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

25

Figur 5 einen Analog-Digital-Wandler gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

30 Figur 6A und 6B Tabellen für Widerstandswerte für den erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandler,

Figur 7 einen Analog-Digital-Wandler gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung,

35

Figur 8 einen Analog-Digital-Wandler gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Gleiche oder ähnliche Komponenten in unterschiedlichen Figuren sind mit gleichen Bezugsziffern versehen.

Die Darstellungen in den Figuren sind schematisch und nicht
5 maßstäblich.

Im Weiteren wird bezugnehmend auf Fig.2 ein Analog-Digital-Wandler 200 gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

10

Der Analog-Digital-Wandler 200 enthält eine Vielzahl von Komparatoren 201, von denen jeder einen ersten Eingang 202, einen zweiten Eingang 203 und einen Ausgang 204 aufweist. An dem Ausgang 204 von jedem der Komparatoren 201 ist 1 Bit eines
15 Thermometercodes bereitgestellt, welcher das digitalisierte Signal darstellt. Anders ausgedrückt ist an jedem Ausgang 204 eines jeden Komparator 201 ein Signal mit einem ersten logischen Wert (z.B. logischer Wert "1") oder mit einem zweiten logischen Wert (z.B. logischer Wert "0") bereitgestellt,
20 basierend darauf, welche elektrischen Potentiale an den Eingängen 202, 203 des jeweiligen Komparators 201 angelegt sind. Ferner ist für jeden Komparator 201 ein Widerstandsnetzwerk 212 aus ersten bis dritten ohmschen Widerständen 209 bis 211 vorgesehen, das mit dem ersten Eingang
25 202 eines jeden Komparators 201 gekoppelt ist. Das dem jeweiligen Komparator 201 zugeordnete Widerstandsnetzwerk 212 ist zwischen den zugehörigen Komparator 201 und ein zu digitalisierendes Signal V_{in} 207 geschaltet. Ferner ist das Widerstandsnetzwerk 212 zwischen einen zugehörigen Komparator
30 201 und ein zugehöriges elektrisches Referenzpotential V_{ref+} 205 bzw. V_{ref-} 206 geschaltet. Der Analog-Digital-Wandler 200 weist n Komparatoren 201 auf. Der gemäß Fig.2 obere Anteil von Komparatoren 201 weist als elektrisches Referenzpotential ein positives Referenzpotential V_{ref+} auf, wohingegen der gemäß
35 Fig.2 untere Anteil der Komparatoren 201 als elektrisches Referenzpotential ein negatives Referenzpotential 206 V_{ref-} aufweist. Der zweite Eingang 203 der Komparatoren 201 ist jeweils auf das elektrische Massepotential 208 gebracht. Der

erste ohmsche Widerstand $R_{ref,i}$ ist zwischen das jeweilige Referenzpotential 205 bzw. 206 einerseits und den ersten Eingang 202 des zugehörigen Komparators 201 geschaltet. Der zweite ohmsche Widerstand $R_{in,i}$ eines jeweiligen Komparators

201 ist zwischen den ersten Eingang 202 des zugehörigen Komparators 201 und das zu digitalisierende Signal V_{in} 207 geschaltet. Ferner ist ein dritter ohmscher Widerstand $R_{gnd,i}$ 211 zwischen den ersten Eingang 202 des zugehörigen Komparators 201 und das elektrische Massepotential 208 geschaltet.

Der Analog-Digital-Wandler 200 enthält n Komparatoren, wobei n vorzugsweise eine ungerade Zahl ist. Wie in Fig.2 gezeigt, ist an diejenigen ersten ohmschen Widerstände 209, die den gemäß Fig.2 oberen $(n-1)/2$ Komparatoren 201 zugeordnet sind, das elektrische Potential V_{ref+} angelegt. An diejenigen ersten ohmschen Widerstände 209, die den gemäß Fig.2 unteren $(n-1)/2$ Komparatoren 201 zugeordnet sind, das elektrische Potential V_{ref-} angelegt. Bei demjenigen Komparator 201, der zwischen den $(n-1)/2$ oberen und den $(n-1)/2$ unteren Komparatoren 201 angeordnet ist, nämlich bei dem Komparator 201 mit dem Index "0", ist ein erster ohmscher Widerstand 209 nicht vorgesehen. Anschaulich gesprochen könnte ein ohmscher Widerstand 209 auch für den Komparator 201 mit dem Index "0" vorgesehen sein, dieser würde dann einen gegen unendlich strebenden Wert des ohmschen Widerstands aufweisen.

Es ist anzumerken, das die Werte des ersten ohmschen Widerstands $R_{ref,i}$ 209 bei unterschiedlichen Komparatoren 201 unterschiedlich sein können. Analog können die Werte der zweiten bzw. dritten ohmschen Widerstände $R_{in,i}$ 210, $R_{gnd,i}$ 211 unterschiedlicher Komparatoren 201 unterschiedliche Werte aufweisen.

Im Weiteren wird die Funktionalität des Analog-Digital-Wandlers 200 beschrieben.

Die Eingangsspannung V_{in} 207 wird mittels eines Widerstandsnetzwerks 212, das jedem Komparator 201

vorgeschaltet ist, derart verschoben, dass in der Nähe der spezifischen Entscheidungsschwelle des jeweiligen Komparators 201 eine Eingangsspannung nahe dem elektrischen Massepotential 208 anliegt. Somit arbeiten alle Komparatoren 201 auf ähnlichen Arbeitspunkten und können somit auf die maximale Leistungsfähigkeit optimiert werden. Die ohmschen Widerstände 209 bis 211 haben die Funktion, das Eingangssignal V_{in} 207 unter Verwendung der Referenzspannung V_{ref} (die im weiteren als Oberbegriff für das positive Referenzpotential 205 V_{ref+} und das negative Referenzpotential 206 V_{ref-} verwendet wird) soweit zu verschieben, dass bei einer vorgegebenen Eingangsspannung $V_{in,i}$ 207 an einem ersten Eingang 202 eines jeweiligen Komparators 201 ein Potential nahe dem elektrischen Massepotential 208 anliegt. Der dritte ohmsche Widerstand R_{gnd} 211 dient dazu, die Empfindlichkeit eines jeweiligen Komparators 201 bezüglich der Eingangsspannung $V_{in,i}$ 207 anzupassen.

Es gilt für den Eingangsknoten V_{comp} 213 des i -ten Komparators 201:

$$\frac{V_{in} - V_{comp,i}}{R_{in,i}} - \frac{V_{comp,i}}{R_{gnd,i}} + \frac{V_{ref\pm} - V_{comp,i}}{R_{ref,i}} = 0 \quad (1)$$

Zum Verschieben der Eingangsspannung V_{in} 207 auf Massenniveau 208 ist eine Referenzspannung $V_{ref,\pm}$ 205, 206 erforderlich. Diese Referenzspannung ist positiv (V_{ref+}), wenn eine negative Eingangsspannung V_{in} 207 verarbeitet werden soll, und ist negativ (V_{ref-}) wenn eine positive Eingangsspannung V_{in} 207 verarbeitet werden soll.

30

Gemäß dem beschriebenen Ausführungsbeispiel ist die erste Nebenbedingung für das Berechnen der Werte der ersten bis dritten Widerstände 209 bis 211, dass $V_{comp,i}=0$ für $V_{in,i}=i \cdot \Delta V$ mit $i=-m, \dots, 0, \dots, +m$ ist, wobei $2m+1=n$ ist. Anschaulich bedeutet dies, dass die Eingangsspannung $V_{comp,i}$ am i -ten Komparator 201 exakt Null sein soll, wenn die Eingangsspannung

35

207 einen bestimmten Wert $V_{in,i} = i \cdot \Delta V$ aufweist.

Dies wird durch Gleichung (2) ausgedrückt:

$$5 \quad \frac{i \cdot \Delta V}{R_{in,i}} + \frac{V_{ref,\pm}}{R_{ref,i}} = 0 \quad (2)$$

10 In Gleichung (2) bezeichnet ΔV eine (ausreichend kleine) Spannungsdifferenz, die in dem Analog-Digital-Wandler 200 dem Least Significant Bit (LSB) entspricht und somit die Auflösung bestimmt.

15 Als zweite Nebenbedingung zum Berechnen der Werte der ohmschen Widerstände 209 bis 211 wird gefordert, dass die Empfindlichkeit der Komparatorspannung auf die Eingangsspannung für alle Komparatoren 201 gleich ist. Bei der Änderung der Eingangsspannung, um beispielsweise ΔV_{in} soll sich die Eingabespannung an jedem Komparator 201 in der Nähe seiner Entscheidungsschwelle $V_{comp,i} = 0$ um einen Wert ΔV_{comp} ändern:

$$20 \quad \frac{\partial V_{comp,i}}{\partial V_{in}} = \frac{1}{1 + \frac{R_{in,i}}{R_{ref,i}} + \frac{R_{in,i}}{R_{gnd,i}}} = \text{const.} \quad \forall i \quad (3)$$

25 Um den Einfluss von Parameterschwankungen gering zu halten, soll dieser Wert möglichst groß sein. Innerhalb der n Komparatoren 201 des Analog-Digital-Wandlers 200 weisen die beiden Komparatoren 201 mit $i = -m$ und $i = +m$ die niedrigste Empfindlichkeit auf.

30 Ferner lässt sich aus Überlegungen der Signaldynamik eine dritte Nebenbedingung für die Berechnung der Werte der ohmschen Widerstände 209 bis 211 formulieren. Da jeder Komparatoreingang eine Eingangskapazität aufweist, bildet sich in Kombination mit dem vorgeschalteten Widerstandsnetzwerk 212 anschaulich ein Tiefpass aus. Damit das Eingangssignal an jedem Komparator 201 eine im Wesentlichen gleiche Frequenzformung erfährt, sollte 35 der Ausgangswiderstand R_{out} des Widerstandsnetzwerkes 212 für

alle Komparatoren 201 identisch sein:

$$\frac{1}{R_{in,i}} + \frac{1}{R_{ref,i}} + \frac{1}{R_{gnd,i}} = \frac{1}{R_{out}} = \text{const.} \quad \forall i \quad (4)$$

- 5 Die Berechnung der Widerstandswerte 209 bis 211 ist besonders einfach, wenn die positive Referenzspannung V_{ref+} 205 bzw. die negative Referenzspannung V_{ref-} den Grenzwerten der Eingangsspannung V_{in} 207 entspricht, d.h. $V_{ref+} = m \cdot \Delta V$ bzw. $V_{ref-} = -m \cdot \Delta V$.

10

In diesen Falle folgt direkt aus Gleichung (2), dass $R_{in,m} = R_{ref,m}$ ist. Aus (3) folgt ferner:

$$\frac{\partial V_{comp,m}}{\partial V_{in}} = \frac{1}{1 + \frac{R_{in,m}}{R_{ref,m}} + \frac{R_{in,m}}{R_{gnd,m}}} = \frac{1}{2} \quad \text{für } R_{gnd,m} \rightarrow \infty \quad (5)$$

15

Dies bedeutet weiterhin für alle Komparatoren 201, dass gilt:

$$\frac{1}{R_{in,i}} = \frac{1}{R_{ref,i}} + \frac{1}{R_{gnd,i}} \quad (6)$$

- 20 Somit folgt unter Verwendung von (4)

$$R_{in,i} = 2R_{out} = R_{in} = \text{const.} \quad \forall i \quad (7)$$

- 25 Der zweite Widerstand R_{in} 210 aller Widerstandsnetzwerke 212 weist in diesem Fall denselben Wert auf.

- 30 Zum eindeutigen Berechnen aller Widerstandswerte 209 bis 211 ist es zweckmäßig, den Eingangswiderstand der gesamten Wandler 200 zu bestimmen. Dieser betrage beispielsweise 50Ω , was in der Höchfrequenztechnik eine übliche Impedanz ist. Soll ein 6 Bit Analog-Digital-Wandler 200 realisiert werden, müssen mindestens 63 Komparatoren mit ihren jeweiligen Eingangswiderstandsnetzwerken 212 parallel geschaltet werden. Zur einfachen Berechnung wird im Folgenden angenommen, dass 64

Widerstandsnetzwerke 212 parallel geschaltet sind. In diesem Fall ist der Eingangswiderstand eines einzelnen Netzwerkes 3200Ω , und es folgt aus $R_{in,m}=R_{ref,m}$, dass $R_{in}=R_{ref,m}=1600\Omega$. Der Wert von $R_{ref,i}$ kann aus Gleichung (2) berechnet werden, der Wert $R_{gnd,i}$ kann aus Gleichung (5) berechnet werden.

Somit sind alle Widerstände 209 bis 211 eindeutig bestimmt und das erfindungsgemäße Widerstandsnetzwerk 212 wird die Eingangsspannung des Analog-Digital-Wandlers 200 für jeden Komparator 201 derart aufbereitet, dass alle Komparatoren 201 stets auf einem optimalen Betriebspunkt betrieben werden.

In Fig. 6A sind die Widerstandswerte 209 bis 211 für einen 6 Bit Wandler mit einer Eingangsimpedanz von 50Ω und für in das Fig. 2 gezeigte Ausführungsbeispiel dargestellt (in Ω).

Es ist anzumerken, dass die dritten ohmschen Widerstände $R_{gnd,i}$ 211 optional sind und auch weggelassen werden können, um eine noch weniger aufwändig herzustellende Analog-Digital-Wandler zu erhalten. Bei Verwendung der dritten ohmschen Widerstände R_{gnd} 211 ist jedoch sichergestellt, dass die Komparatoren 201 bei annähernd der gleichen Empfindlichkeit betrieben werden, was zu einer erhöhten effektiven Auflösung des Wandlers 200 führt.

Im Weiteren wird bezugnehmend auf Fig. 3 ein Analog-Digital-Wandler 300 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

Der Analog-Digital-Wandler 300 unterscheidet sich von dem Analog-Digital-Wandler 200 im Wesentlichen durch die modifizierte Verschaltung von ohmschen Widerständen der Widerstandsnetzwerke. Der Analog-Digital-Wandler 300 weist wiederum erste ohmsche Widerstände 301, zweite ohmsche Widerstände 302 und dritte ohmsche Widerstände 303 auf. Die dritten ohmschen Widerstände 303 haben gemäß Fig. 3 im Wesentlichen dieselbe Funktion wie die dritten ohmschen Widerstände 211 in Fig. 2. Dagegen ist die Funktionalität der ersten und zweiten ohmschen Widerstände 301, 302 des Analog-

Digital-Wandlers 300 mit der Funktionalität der ersten und zweiten Widerstände 209, 210 aus Fig.2 nicht identisch.

- Betrachtet man beispielsweise den gemäß Fig.3 linken oberen
- 5 Komparator 201, so ist dessen zweiter Eingang 203 wiederum geerdet, d.h. auf das elektrische Massepotential 208 gebracht. Zwischen den ersten Eingang 202 des betrachteten Komparators 201 und das Massepotential 208 ist ein dritter ohmscher Widerstand R_{b1} 303 geschaltet. Ferner ist zwischen dem ersten
- 10 Eingang 202 und das zu digitalisierende Signal V_{in} 207 ein ohmscher Gesamtwiderstand geschaltet, der sich aus dem ersten ohmschen Widerstand 301 R_{a1} und dem zweiten ohmschen Widerstand R_1 302 zusammensetzt. Anschaulich bilden die Widerstände R_{a1} und R_1 einen effektiven Gesamtwiderstand, welcher mit dem
- 15 Widerstand $R_{in,i}$ 210 aus Fig.2 vergleichbar ist. Ferner ist zwischen dem ersten Eingang 202 des Komparators 201 und das positive Referenzpotential V_{ref+} 205 eine Kette von Widerständen geschaltet, welche aus dem ersten Widerstand 301 R_{a1} und einer Vielzahl von zweiten Widerständen 302 (R_2 ,
- 20 R_3, \dots, R_m, R_{ref}) gebildet ist. Die Funktionalität der Widerstände $R_{a1}, R_2, R_3, \dots, R_m, R_{ref}$ ist mit der Funktionalität des ersten ohmschen Widerstands $R_{ref,i}$ 209 aus Fig.2 vergleichbar.
- 25 Die Eingangsspannung V_{in} 207 wird gemäß Fig.3 an ein Referenzwiderstandsnetzwerk angelegt, welches Eingangsspannungen für die Komparatoren 201 generiert. Der jeweils zweite Eingang 203 der Komparatoren 201 ist auf dem elektrischen Massepotential 208. Jeder Komparator 201 arbeitet
- 30 annähernd bei demselben Eingangsspannungswert und somit auf fast dem selben Arbeitspunkt. Zudem ist die Empfindlichkeit der Komparatoren 201 mittels geeigneter Wahl der Einzelwiderstände 301, bis 303 für alle Komparatoren 201 annähernd identisch.
- 35 Anschaulich wird die Eingangsspannung V_{in} 207 unter Verwendung einer Längswiderstandskette aus den zweiten Widerständen R_i 302 geteilt bzw. verschoben. Mittels der ersten Widerstände $R_{a,i}$ 301 und der zweiten Widerstände $R_{b,i}$ 302 kann die

Empfindlichkeit der einzelnen Komparatoren 201 eingestellt werden. Die Berechnung der Widerstandswerte für die ohmschen Widerstände 301 bis 303 ist bei dem Analog-Digital-Wandler 300 analytisch nicht möglich, Daher werden die Werte der ohmschen Widerstände 301 bis 303 mittels numerischen Lösens des folgenden Gleichungssystems ermittelt:

$$\frac{V_{i-1} - V_i}{R_i} + \frac{V_{i+1} - V_i}{R_{i+1}} - \frac{V_i}{R_{ai} + R_{bi}} = 0 \quad (8)$$

10 und

$$\frac{V_{comp,i}}{V_i} = \frac{R_{bi}}{R_{ai} + R_{bi}} \quad (9)$$

mit den Nebenbedingungen:

15

$$V_{comp,i} = 0 \text{ für } V_{in,i} = i \cdot \Delta V \text{ mit } i = -m, \dots, 0, \dots, m \quad (2m + 1 = n) \quad (10)$$

und

$$20 \quad \frac{\partial V_{comp,i}}{\partial V_{in}} = \text{const.} \quad \forall i \quad (11)$$

Aufgrund der vielen Freiheitsgrade bei der numerischen Berechnung können auch noch weitere Nebenbedingungen wie der Ausgangswiderstand des Netzwerkes an den Komparatoranschlüssen berücksichtigt werden.

25

Im Weiteren wird bezugnehmend auf Fig.4 ein Analog-Digital-Wandler 400 gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

30

Der Analog-Digital-Wandler 400 unterscheidet sich von dem in Fig.3 gezeigten Analog-Digital-Wandler 300 im Wesentlichen dadurch, dass die ersten und dritten ohmschen Widerstände 301, 303 weggelassen sind.

35

Folglich können die Komparatoren 201 bei dem Analog-Digital-Wandler 400 leicht unterschiedliche Empfindlichkeiten aufweisen. Allerdings ist das Widerstandsnetzwerk aus Fig.4 gegenüber Fig.3 stark vereinfacht, und eine sukzessive
 5 analytische Berechnung der Werte der Widerstände 302 ist möglich.

Für die Spannung $V_{comp,i}$ an den Knoten 401, die mit dem ersten Eingang 202 der Komparatoren 201 gekoppelt sind, gilt
 10 allgemein:

$$\frac{V_{in} - V_{comp,i}}{\sum_{j=1}^i R_j} + \frac{V_{ref,\pm} - V_{comp,i}}{\sum_{j=i+1}^m R_j + R_{ref}} = 0 \quad (12')$$

Eine Nebenbedingung zum Berechnen der Widerstandswerte 302 ist
 15 $V_{comp,i}=0$ für $V_{in,i}=i \cdot \Delta V$ mit $i=-m, \dots, 0, \dots, +m$, wobei $2m+1=n$.
 Anschaulich bedeutet dies, dass die Eingangsspannung am i -ten Komparator $V_{comp,i}$ exakt Null sein soll, wenn die Eingangsspannung einen bestimmten Wert $V_{in,i}=i \cdot \Delta V$ aufweist.

20 Somit folgt aus (12):

$$\frac{i \cdot \Delta V}{\sum_{j=1}^i R_j} + \frac{V_{ref,\pm}}{\sum_{j=i+1}^m R_j + R_{ref}} = 0 \quad (13)$$

ΔV sei eine kleine Spannungsdifferenz, die in dem Analog-Digital-Wandler 400 dem Least Significant Bit (LSB) entspricht.
 25 Eine einfache Berechnung der Widerstandswerte 302 ist unter der Annahme möglich, dass das Referenzpotential V_{ref} der negativen maximalen Eingangsspannung des Analog-Digital-Wandler 400 entspricht ($V_{ref}=+m \cdot \Delta V$, $V_{ref}=-m \cdot \Delta V$). In diesem Fall gilt

30 $\sum_{i=1}^m R_i = R_{ref}$, und aus (13) folgt:

$$\frac{i \cdot V_{\text{ref},\pm}}{m \sum_{j=1}^i R_j} = \frac{V_{\text{ref},\pm}}{2R_{\text{ref}} - \sum_{j=1}^i R_j} \quad (14)$$

Dies lässt sich weiter vereinfachen zu:

$$5 \quad R_i = \frac{2R_{\text{ref}}}{\frac{m}{i} + 1} - \sum_{j=1}^{i-1} R_j \quad (15)$$

Der Eingangswiderstand des Widerstandsnetzwerks aus den Widerständen 302 ergibt sich in diesem Fall zu $R_{\text{in}} = 2R_{\text{ref}}/2 = R_{\text{ref}}$. Dieser Wert ergibt sich mittels Parallelschaltens zweier Netzwerke (positiver und negativer Zweig) mit einem ohmschen Widerstand von jeweils $2R_{\text{ref}}$. Soll wiederum ein Eingangswiderstand von 50Ω realisiert werden, so ist demnach $R_{\text{ref}} = 50\Omega$ zu wählen.

15 Mittels dieser Wahl des Widerstandswerts können mittels der Formel (15) die Werte aller weiteren Widerstände sukzessive, beginnend mit R_1 berechnet werden.

20 In Fig. 6B sind die Widerstandswerte (in Ω) für ein 6 Bit Wandler gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 4 dargestellt.

Wird der Wert des Eingangswiderstands zu hoch gewählt, kann es zu dynamischen Verzerrungen im Wandlerbetrieb kommen. In diesem Falle wirkt die Kette aus Widerständen 302 und den Eingangskapazitäten der Komparatoren 201 als Tiefpass, so dass die Komparatoren 201 mit hoher Ordnungszahl, daher insbesondere der m-te Komparator, ein leicht phasenverschobenes Eingangssignal erhalten. Die ist bei dem in Fig. 2 gezeigten Analog-Digital-Wandler 200 vermieden.

30

Im Weiteren wird bezugnehmend auf Fig. 5 ein Analog-Digital-Wandler 500 gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

Genauer gesagt zeigt Fig.5 die Verschaltung eines Komparators 201 eines Analog-Digital-Wandlers unter Verwendung einer Kalibrier-Einrichtung 501.. Somit kann aus der Verschaltung des Komparators 201 aus Fig.5 ähnlich der in Fig.2 oder Fig.3 oder Fig.4 gezeigten Weise ein Analog-Digital-Wandler mit einer Mehrzahl von Komparatoren gebildet werden.

Die in Fig.5 gezeigte Einzelstufe eines Analog-Digital-Wandlers 500 unterscheidet sich von einer Einzelstufe des Analog-Digital-Wandlers 200 aus Fig.2 im Wesentlichen dadurch, dass eine Kalibrier-Einrichtung 501 und ein Schalter 502 bereitgestellt ist. Mittels des Schalter-Elements 502 kann der erste Eingang 202 des Komparators 201 in einem Messmodus mit dem Widerstandsnetzwerk 212 gekoppelt werden (siehe die in Fig.5 gezeigte Schalterstellung des Schalters 502).

In der zu Fig.5 komplementären Stellung des Schalters 502 ist der erste Eingang 202 auf das elektrische Massepotential 208 gebracht. In dieser Stellung sind beide Eingänge 202, 203 des Komparators 201 auf dem elektrischen Massepotential 208. Basierend auf einem in diesem Szenario ermittelten Ausgabesignal des Komparators 201 an seinem Ausgang 204 regelt die Kalibrier-Einrichtung 501, der dieses Ausgabesignal bereitgestellt ist, den Komparator 201 derart nach, dass ein möglicher Offset des Komparators dadurch ausgeglichen wird.

Komparatoren 201 können bedingt durch physikalische Effekte Abweichungen in der Lage ihrer Entscheidungsschwelle aufweisen. In einem Komparator 201, der zwei Spannungen miteinander vergleicht, wird dies in Form eines Eingangsspannungs-Offsets ausgedrückt. Diese Offset-Spannungen sind gleichverteilt und hängen von den Eigenschaften des Halbleiter-Prozesses zum Herstellen der Komparatoren 201 sowie von den Flächen aller in dem Komparator 201 verwendeten Bauelemente ab. Dabei gilt, dass die statistische Abweichung der Eingangsspannung mit zunehmender Bauteilfläche abnimmt. Bei Verwendung sehr kleinflächiger Bauteile kann dieser Effekt dazu führen, dass

die Monotonizität der digitalen Signale nicht mehr gewährleistet ist. Ist der Offset eines Komparators 201 größer als der Spannungsabstand ΔV der Schaltschwelle, so kann es vorkommen, dass bei einer bestimmten Eingangsspannung ein höherwertiger Komparator 201 bereits einen Ausgangswert mit einem logischen Wert "1" und simultan ein niederwertiger Komparator 201 einen Ausgangswert mit einem logischen Wert "0" anzeigt (oder umgekehrt). Der am Ausgang der Komparatoren 201 bereitgestellte Thermometercode ist daher unterbrochen, so dass eine aufwändige Korrektur in einer nachgeschalteten Digitallogik erforderlich sein kann. Ferner führt eine Offset-Spannung der Komparatoren zu einer Reduzierung der effektiven Auflösung des Wandlers. Aus diesen Gründen muss entweder der Offset der Komparatoren ausreichend gering gewählt werden (was einschränkende Bedingungen hinsichtlich der Bauteilflächen zur Folge hat) und/oder es kann eine Kalibrier-Einrichtung wie die in Fig.5 gezeigte Kalibrier-Einrichtung 501 bereitgestellt werden.

Da bei allen Komparatoren 201 erfindungsgemäß die Entscheidungsschwelle bei einer Eingangsspannung nahe dem Massepotential 208 liegt, kann eine Kalibrierung der Komparatoren 201 besonders einfach mittels Anlegens des Massepotentials 201 an den ersten Eingang 202 erfolgen. Dies ist in Fig.5 mittels des Schalters 502 (Halbleiterschalter/Transmission-Gate) realisiert, der den Eingang 202 des Komparators 201 zwischen der Eingangsspannung $V_{comp,i}$ und der Massespannung 208 umschaltet. Liegt ein definierter Eingangszustand vor, kann die Kalibrier-Einrichtung 501 den Komparator 201 derart justieren, dass sich dieser exakt im labilen Arbeitspunkt befindet. Diese Justierung wird gespeichert, und der Komparator 201 kann wieder im Messmodus betrieben werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Analog-Digital-Wandlern sind somit zur Kalibrierung des erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandlers 500 nicht eine Vielzahl von zusätzlichen Kalibrierspannungen erforderlich, es ist lediglich das ohnehin vorhandene Massepotential 208 an den ersten Eingang 202 der Komparatoren 201 anzulegen.

Es ist anzumerken, dass eine Kalibrierschaltung, wie die in Fig.5 gezeigte, in jedem anderen Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandlers enthalten sein kann.

5

Be der Kalibrier-Einrichtung des erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandlers 500 erfolgt somit eine sehr einfache Offset-Korrektur der Komparatoren 201, da diese annähernd bei demselben Wert der Eingangsspannung arbeiten. Jeder erste Komparatoreingang 202 wird mittels des Schalters 502 auf Massepotential 208 gelegt, das Vergleichsergebnis an Ausgang 204 wird ausgewertet, und der Komparator 201 wird mittels eines Justiereingangs 503, auf welchen die Kalibrier-Einrichtung 501 zugreift, abgeglichen.

15

Im Weiteren werden bezugnehmend auf Fig.7 und Fig.8 zwei zusätzliche Ausführungsbeispiele von erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandlern beschrieben, die zur Verarbeitung eines differentiellen Eingabesignals eingerichtet sind.

20

Insbesondere in der Hochfrequenztechnik liegt ein Eingangssignal häufig in der Form eines differentiellen Signals vor. Zwei zueinander gegenphasige Eingangssignale V_{in+} und V_{in-} werden in Analog-Digital-Wandlern nach dem Stand der Technik häufig jeweils von unabhängigen Komparatoren in ein digitales Signal gewandelt und anschließend digital subtrahiert.

25

Die in Fig.7 und Fig.8 gezeigten erfindungsgemäßen Analog-Digital-Wandler 700, 800 eignen sich besonders gut für die Verarbeitung differentieller Signale. Dazu wird in Abweichung zu den Ausführungsbeispielen aus Fig.2 bis Fig.4 an die beiden Eingänge eines jeweiligen Komparators 201 jeweils ein verschobenes Spannungssignal $V_{comp,i+}$ aus dem positiven Zweig und das Signal $V_{comp,i-}$ aus dem negativen Zweig angelegt.

35

Passiert die Eingangsspannung den für dieses Widerstandsnetzwerk vorgesehenen Spannungswert, so passiert die eine Eingangsspannung des Komparators das Massepotential in positiver Richtung, die andere Eingangsspannung in negativer

Richtung. Mittels dieser Architektur ist der effektive Spannungshub am Komparator doppelt so hoch wie bei der nichtdifferentiellen Architektur. Aufgrund der verdoppelten Eingangsamplitude an dem Komparator verringern sich

5 entsprechend die Anforderungen an den Eingangsspannungs-Offset der Komparatoren. Die differentielle Signalverarbeitung kann in jedem der bereits vorgestellten Ausführungsbeispiele verwirklicht werden.

10 Im Weiteren wird bezugnehmend auf Fig.7 ein Analog-Digital-Wandler 700 gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

15 Wiederum ist in Fig.7 nur eine Stufe, d.h. ein Komparator und ein zugehöriges Widerstandsnetzwerk, eines Analog-Digital-Wandlers 700 gezeigt. Der in Fig.7 gezeigte Analog-Digital-Wandler 700 weist insgesamt n solcher Stufen auf.

Der Analog-Digital-Wandler 700 aus Fig.7 weist wiederum einen
20 Komparator 201 mit einem ersten Eingang 202 und einem zweiten Eingang 203 auf, sowie mit einem Ausgang 204. Zwischen den zweiten Eingang 203 und das positive Referenzsignal V_{ref+} 205 ist ein erster ohmscher Widerstand $R_{ref, (n-1)/2}$ geschaltet. Zwischen den ersten Eingang 202 und das negative
25 Referenzpotential V_{ref-} 206 ist ein zweiter ohmscher Widerstand $R_{ref, -(n-1)/2}$ geschaltet. Ferner ist zwischen dem zweiten Eingang 203 und ein erstes zu digitalisierendes Teilsignal 706 V_{in+} , ein dritter ohmscher Widerstand $R_{in, (n-1)/2}$ geschaltet. Zwischen den zweiten Eingang 203 und ein erstes zu
30 digitalisierendes Teilsignal 706 ist ein dritter ohmscher Widerstand $R_{in, (n-1)/2}$ 703 geschaltet. Zwischen den ersten Eingang 202 und ein zweites zu digitalisierendes Teilsignal 707 ist ein vierter ohmscher Widerstand $R_{in, -(n-1)/2}$ 704 geschaltet. Darüber hinaus ist zwischen den ersten und dem
35 zweiten Eingang 202, 203 ein fünfter ohmscher Widerstand $2R_{gnd, (n-1)/2}$ 705 geschaltet. Der fünfte ohmsche Widerstand kann auch in zwei Teilwiderstände aufgeteilt sein, deren Mittenabgriff auf ein Referenzpotential (z.B. das elektrische

Massepotential) gebracht sein kann. Die Teilsignale 706, 707 bilden ein differentiellles Eingangssignal, welches von dem Komparator 201 gemeinsam verarbeitet wird. Die in Fig.7 gezeigte Stufe des Analog-Digital-Wandlers 700 stellt das
5 Analogon zur der obersten in Fig.2 gezeigten Stufe dar. Widerstände 701 bis 705 bilden ein Widerstandsnetzwerk 708.

Die differenziellen Eingangsspannungen V_{in+} 706 und V_{in-} 707 werden mittels zweier Widerstandsteiler, die jedem der
10 insgesamt n Komparatoren 201 vorgeschaltet sind, derart verschoben, dass alle Komparatoren 201 im Wesentlichen auf demselben Arbeitspunkt arbeiten können.

Im Weiteren wird bezugnehmend auf Fig.8 ein Analog-Digital-
15 Wandler 800 gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

Analog-Digital-Wandler 800 ist zum Verarbeiten eines differentiellen Eingabesignals 706, 707 eingerichtet. Die
20 ohmschen Widerstände 801 in Fig.8 ersetzen die ohmschen Widerstände 701 bis 705 aus Fig.7. Anschaulich werden die differenziellen Eingangsspannungen V_{in+} sowie V_{in-} 706, 707 gemäß Fig.8 mittels zweier Widerstandsnetzwerke (der gemäß Fig.8 oberen Kette von ohmschen Widerständen 801 bzw. der gemäß
25 Fig.8 unteren Kette von ohmschen Widerständen 801) derart verschoben, das alle Komparatoren 201 im Wesentlichen auf demselben Arbeitspunkt arbeiten.

Bezugszeichenliste

- 100 Analog-Digital-Wandler
- 101 Komparatoren
- 102 erster Eingang
- 103 zweiter Eingang
- 104 Ausgang
- 105 ohmsche Widerstände
- 106 positives Referenzpotential
- 107 negatives Referenzpotential
- 108 zu digitalisierendes Signal
- 200 Analog-Digital-Wandler
- 201 Komparatoren
- 202 erster Eingang
- 203 zweiter Eingang
- 204 Ausgang
- 205 positives Referenzpotential
- 206 negatives Referenzpotential
- 207 zu digitalisierendes Signal
- 208 Massepotential
- 209 erster ohmscher Widerstand
- 210 zweiter ohmscher Widerstand
- 211 dritter ohmscher Widerstand
- 212 Widerstandsnetzwerk
- 213 Eingangsknoten
- 300 Analog-Digital-Wandler
- 301 erster ohmscher Widerstand
- 302 zweiter ohmscher Widerstand
- 303 dritter ohmscher Widerstand
- 400 Analog-Digital-Wandler
- 401 Knoten
- 500 Analog-Digital-Wandler
- 501 Kalibrier-Einrichtung
- 502 Schalter
- 503 Justiereingang

700 Analog-Digital-Wandler
701 erster ohmscher Widerstand
702 zweiter ohmscher Widerstand
703 dritter ohmscher Widerstand
704 vierter ohmscher Widerstand
705 fünfter ohmscher Widerstand
706 erstes zu digitalisierendes Teilsignal
707 zweites zu digitalisierendes Teilsignal
708 Widerstandsnetzwerk
800 Analog-Digital-Wandler
801 ohmsche Widerstände

Patentansprüche:

1. Analog-Digital-Wandler zum Umwandeln eines zu digitalisierenden Signals in ein digitalisiertes Signal,
 - 5 • mit einer Mehrzahl von Komparatoren, von denen jeder einen ersten und einen zweiten Eingang und einen Ausgang aufweist, an welchem Ausgang das digitalisierte Signal bereitstellbar ist;
 - mit einem Impedanz-Netzwerk für jeden Komparator, das mit
 - 10 zumindest einem Eingang des Komparators gekoppelt ist, wobei ein jeweiliges Impedanz-Netzwerk zwischen den zugehörigen Komparator und das zu digitalisierende Signal geschaltet ist und zwischen den zugehörigen Komparator und ein erstes elektrisches Referenzpotential geschaltet ist;
 - 15 • wobei die Impedanz-Netzwerke derart eingerichtet sind, dass die Komparatoren im Wesentlichen auf denselben Arbeitspunkt gebracht sind.
2. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 1,
 - 20 bei dem der zweite Eingang von zumindest einem Teil der Komparatoren auf ein zweites elektrisches Referenzpotential gebracht ist.
3. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 2,
 - 25 bei dem das zweite elektrische Referenzpotential das Massepotential ist.
4. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 2 oder 3,
 - 30 bei dem zumindest ein Teil der Impedanz-Netzwerke einen ersten ohmschen Widerstand und einen zweiten ohmschen Widerstand aufweist, wobei der erste ohmsche Widerstand zwischen den ersten Eingang von zumindest einem Teil der Komparatoren und das erste elektrische Referenzpotential geschaltet ist, und wobei der zweite ohmsche Widerstand zwischen den ersten Eingang
 - 35 von zumindest einem Teil der Komparatoren und das zu digitalisierende Signal geschaltet ist.
5. Analog-Digital-Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

bei dem zumindest ein Teil der Impedanz-Netzwerke einen Spannungsteiler aufweist.

6. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 5,

- 5 bei dem der Spannungsteiler eine erste Impedanz aufweist, die zwischen den ersten Eingang und ein drittes elektrisches Referenzpotential geschaltet ist.

7. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 5 oder 6,

- 10 bei dem der Spannungsteiler eine zweite Impedanz aufweist, die zwischen den ersten Eingang und das erste elektrische Referenzpotential geschaltet ist.

8. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 6 oder 7,

15 bei dem

- die erste Impedanz ein dritter ohmscher Widerstand und/oder die zweite Impedanz ein vierter ohmscher Widerstand ist; oder
 - die erste Impedanz eine erste Kapazität und/oder die
- 20 zweite Impedanz eine zweite Kapazität ist.

9. Analog-Digital-Wandler nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem das dritte elektrische Referenzpotential das elektrische Massepotential ist.

25

10. Analog-Digital-Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem das erste elektrische Referenzpotential in ein erstes Teilpotential und in ein zweites Teilpotential aufgeteilt ist, wobei für einen ersten Teil der Komparatoren zumindest ein Teil

30 von deren Impedanz-Netzwerk zwischen den ersten Eingang und das erste Teilpotential geschaltet ist, und wobei für einen zweiten Teil der Komparatoren zumindest ein Teil von deren Impedanz-Netzwerk zwischen den ersten Eingang und das zweite Teilpotential geschaltet ist.

35

11. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 10, bei dem das zweite und/oder das dritte elektrische Referenzpotential einen Wert zwischen dem ersten und dem

zweiten Teilpotential aufweist.

12. Analog-Digital-Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem für zumindest einen Teil der Komparatoren eine Kalibrier-Einrichtung vorgesehen ist, die derart eingerichtet ist, dass mit dieser eine Parameterschwankung zwischen unterschiedlichen Komparatoren korrigierbar ist.

13. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 12, bei dem die Kalibrier-Einrichtung ein Schaltelement zwischen dem ersten Eingang und dem Impedanz-Netzwerk aufweist, mittels welchem Schaltelement wahlweise

- in einem Erfassmodus der erste Eingang mit dem Impedanz-Netzwerk koppelbar ist oder
- in einem Kalibriermodus der erste Eingang auf ein viertes elektrisches Referenzpotential bringbar ist, wobei basierend auf einem resultierenden Signal an dem Ausgang des Komparators der Komparator mittels der Kalibrier-Einrichtung kalibrierbar ist.

14. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 13, bei dem das vierte elektrische Referenzpotential gleich dem zweiten elektrischen Referenzpotential ist.

15. Analog-Digital-Wandler nach einem der Ansprüche 2 bis 14, bei dem der Wert von zumindest einem der ersten bis vierten ohmschen Widerstände für zumindest einen Teil der Impedanz-Netzwerke basierend auf dem Kriterium berechnet wird, dass an einem der ersten Eingänge der Komparatoren ein Signal anliegt, das im Wesentlichen gleich dem zweiten elektrischen Referenzpotential ist.

16. Analog-Digital-Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 15, bei dem der Wert von zumindest einem der ersten bis vierten ohmschen Widerstände für zumindest einen Teil der Impedanz-Netzwerke basierend auf dem Kriterium berechnet wird, dass eine Veränderung des zu digitalisierenden Signals um einen vorgebbaren Wert für zumindest einen Teil der Komparatoren zu

einer Veränderung des elektrischen Potentials an deren ersten Eingang um einen im Wesentlichen gleichen Wert führt.

17. Analog-Digital-Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 16, bei dem der Wert von zumindest einem der ersten bis vierten ohmschen Widerstände für zumindest einen Teil der Impedanz-Netzwerke basierend auf dem Kriterium berechnet wird, dass der ohmsche Ausgangswiderstand von zumindest einem Teil der Impedanz-Netzwerke im Wesentlichen gleich ist.

18. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 1, bei dem

- für zumindest einen Teil der Komparatoren das jeweils zugeordnete Impedanz-Netzwerk eine mit dem ersten Eingang gekoppelte erste Impedanz-Teileinrichtung und eine mit dem zweiten Eingang gekoppelte zweite Impedanz-Teileinrichtung aufweist,
- das zu digitalisierende Signal in ein erstes und ein zweites zu digitalisierendes Teilsignal aufgeteilt ist und das erste elektrische Referenzpotential in ein erstes Teilpotential und ein zweites Teilpotential aufgeteilt ist,
- die erste Impedanz-Teileinrichtung zwischen dem ersten Eingang, dem ersten zu digitalisierenden Teilsignal und dem ersten Teilpotential geschaltet ist, und die zweite Impedanz-Teileinrichtung zwischen dem zweiten Eingang, dem zweiten zu digitalisierenden Teilsignal und dem zweiten Teilpotential geschaltet ist.

19. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 18, bei dem das erste und das zweite zu digitalisierende Teilsignal differentielle Signale sind.

20. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 18 oder 19, bei dem

- die ersten Impedanz-Teileinrichtungen einen ersten ohmschen Widerstand und einen zweiten ohmschen Widerstand aufweisen, wobei der erste ohmsche Widerstand zwischen den

ersten Eingang und das erste elektrische Teilpotential geschaltet ist, und wobei der zweite ohmsche Widerstand zwischen den ersten Eingang und das erste zu digitalisierende Teilsignal geschaltet ist;

5 • die zweiten Impedanz-Teileinrichtungen einen dritten ohmschen Widerstand und einen vierten ohmschen Widerstand aufweist, wobei der dritte ohmsche Widerstand zwischen den zweiten Eingang und das zweite elektrische Teilpotential geschaltet ist, und wobei der vierte ohmsche Widerstand
10 zwischen den zweiten Eingang und das zweite zu digitalisierende Teilsignal geschaltet ist.

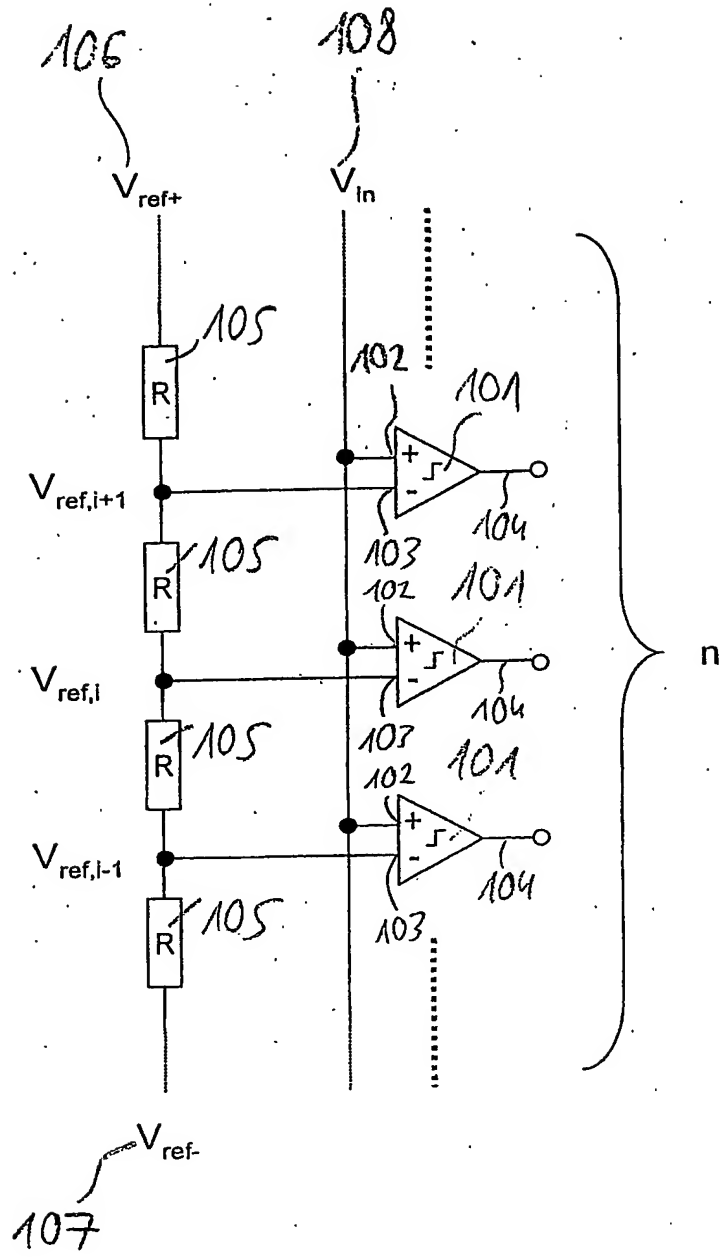
21. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 20,
bei dem zwischen den ersten und den zweiten Eingang mindestens
15 ein fünfter ohmscher Widerstand geschaltet ist.

22. Analog-Digital-Wandler nach Anspruch 21,
bei dem der fünfte ohmsche Widerstand in einen ersten und in einen zweiten Teilwiderstand aufgeteilt ist, wobei ein
20 Anschluss zwischen dem ersten und dem zweiten Teilwiderstand auf ein fünftes elektrisches Referenzpotential gebracht ist.

23. Analog-Digital-Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 22, eingerichtet als integrierter Schaltkreis.

1/8

100



Struktur der Technik

Fig. 1

218

212

200

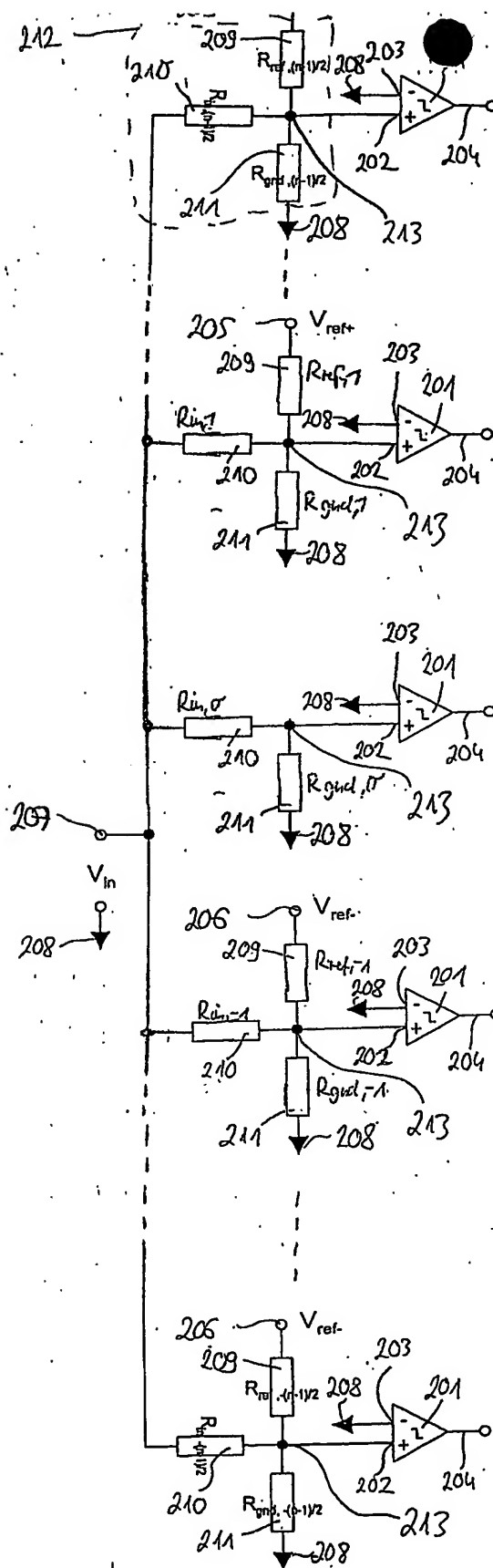


Fig. 2

3/8

4

300

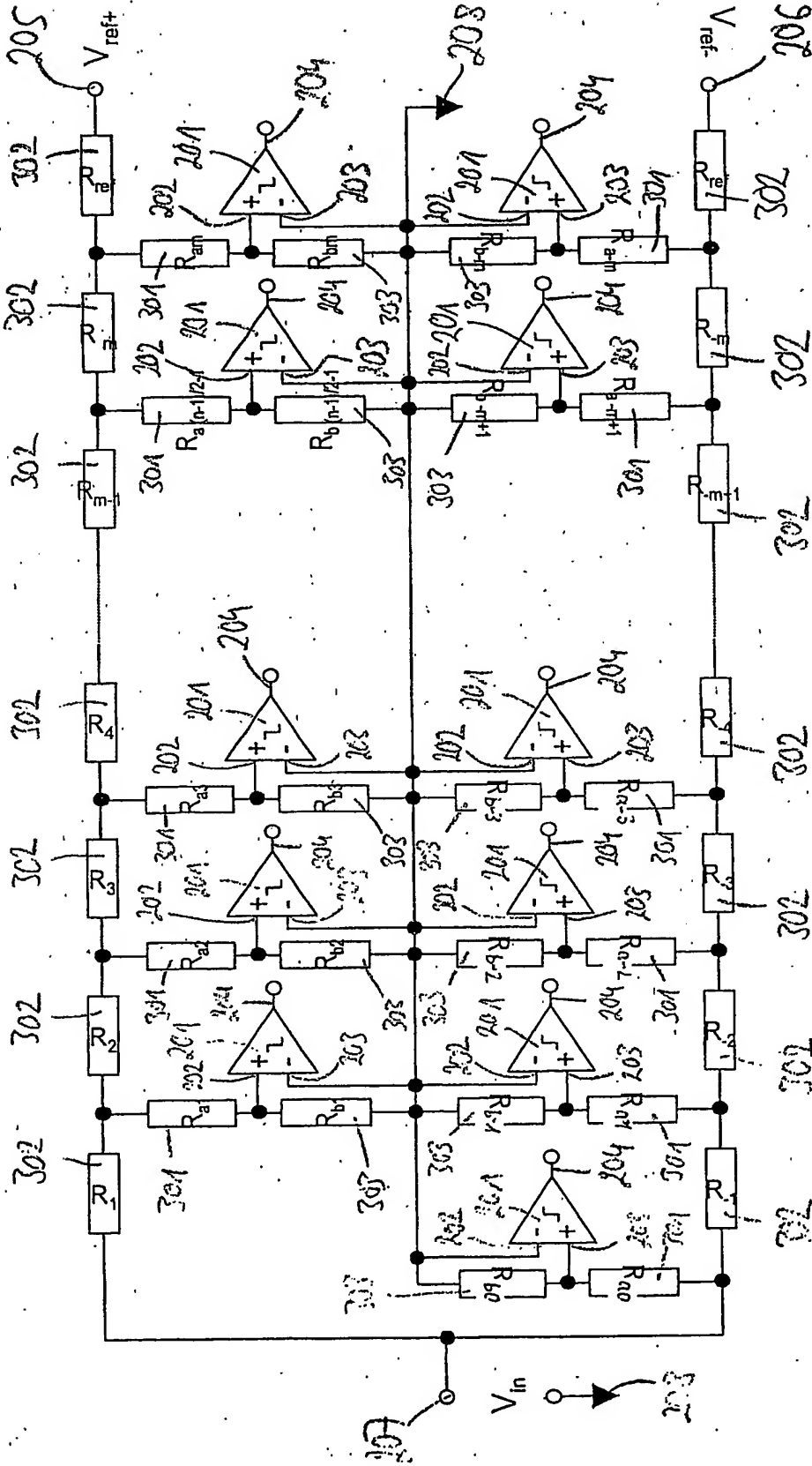
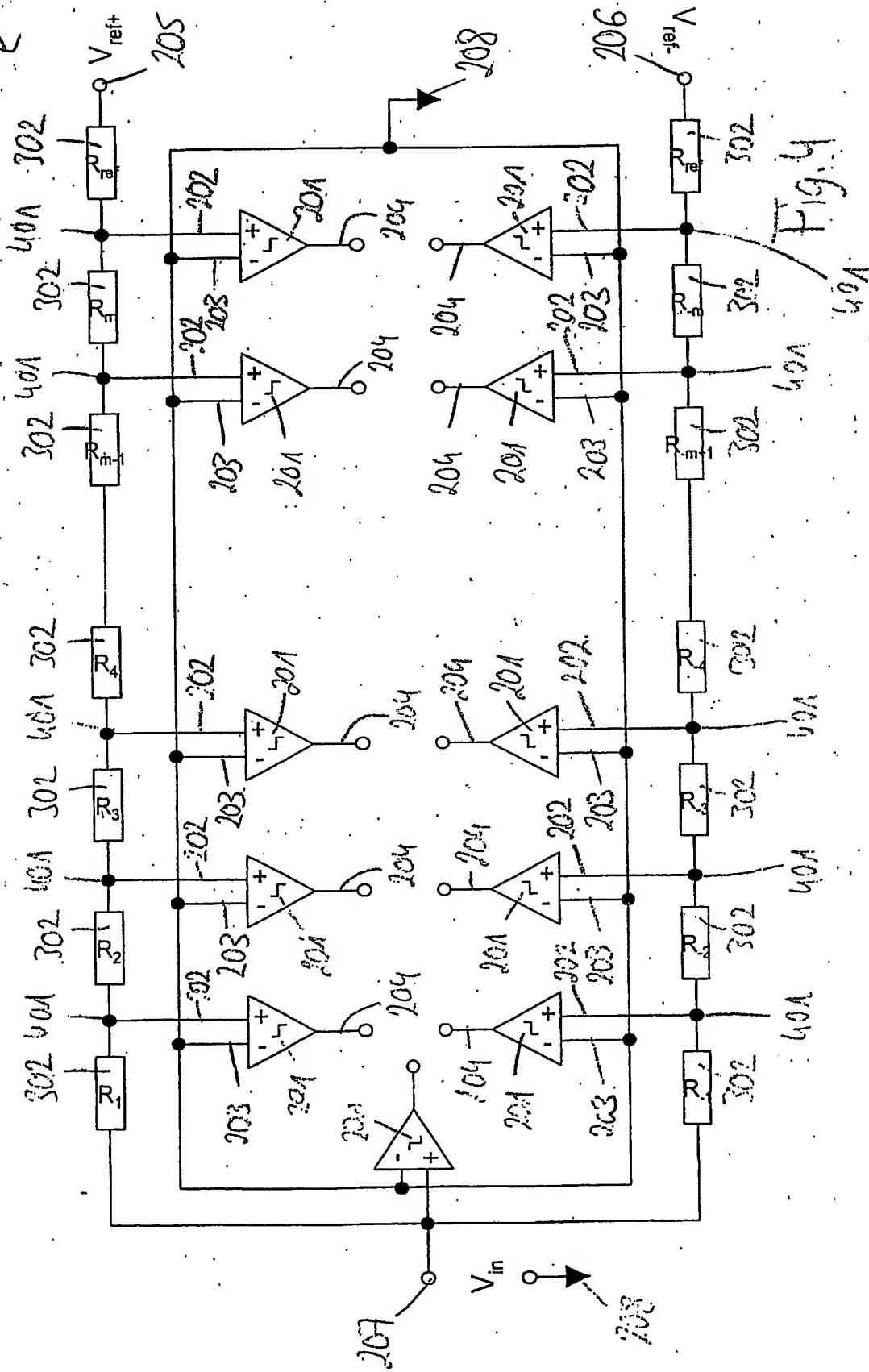


Fig. 3

4/8

400



5/8

42

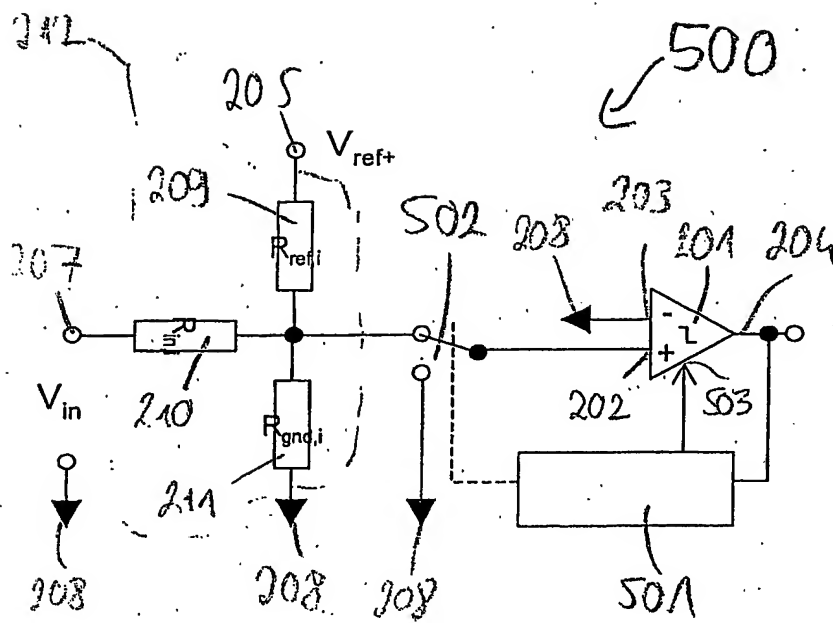


Fig. 5

6/8

Fig. 6B

Fig. 6A

Rref: 50

i	Ri
1	3,125
2	2,936
3	2,763
4	2,605
5	2,460
6	2,327
7	2,205
8	2,092
9	1,987
10	1,890
11	1,800
12	1,717
13	1,638
14	1,566
15	1,498
16	1,434
17	1,374
18	1,318
19	1,265
20	1,216
21	1,169
22	1,125
23	1,083
24	1,044
25	1,006
26	0,971
27	0,938
28	0,906
29	0,876
30	0,847
31	0,820

Rin: 1600

i	Rgndi	Rrefi
1	1653	49600
2	1710	24800
3	1771	16533
4	1837	12400
5	1908	9920
6	1984	8267
7	2067	7086
8	2157	6200
9	2255	5511
10	2362	4960
11	2480	4509
12	2611	4133
13	2756	3815
14	2918	3543
15	3100	3307
16	3307	3100
17	3543	2918
18	3815	2756
19	4133	2611
20	4509	2480
21	4960	2362
22	5511	2255
23	6200	2157
24	7086	2067
25	8267	1984
26	9920	1908
27	12400	1837
28	16533	1771
29	24800	1710
30	49600	1653
31		1600

Fig. 7

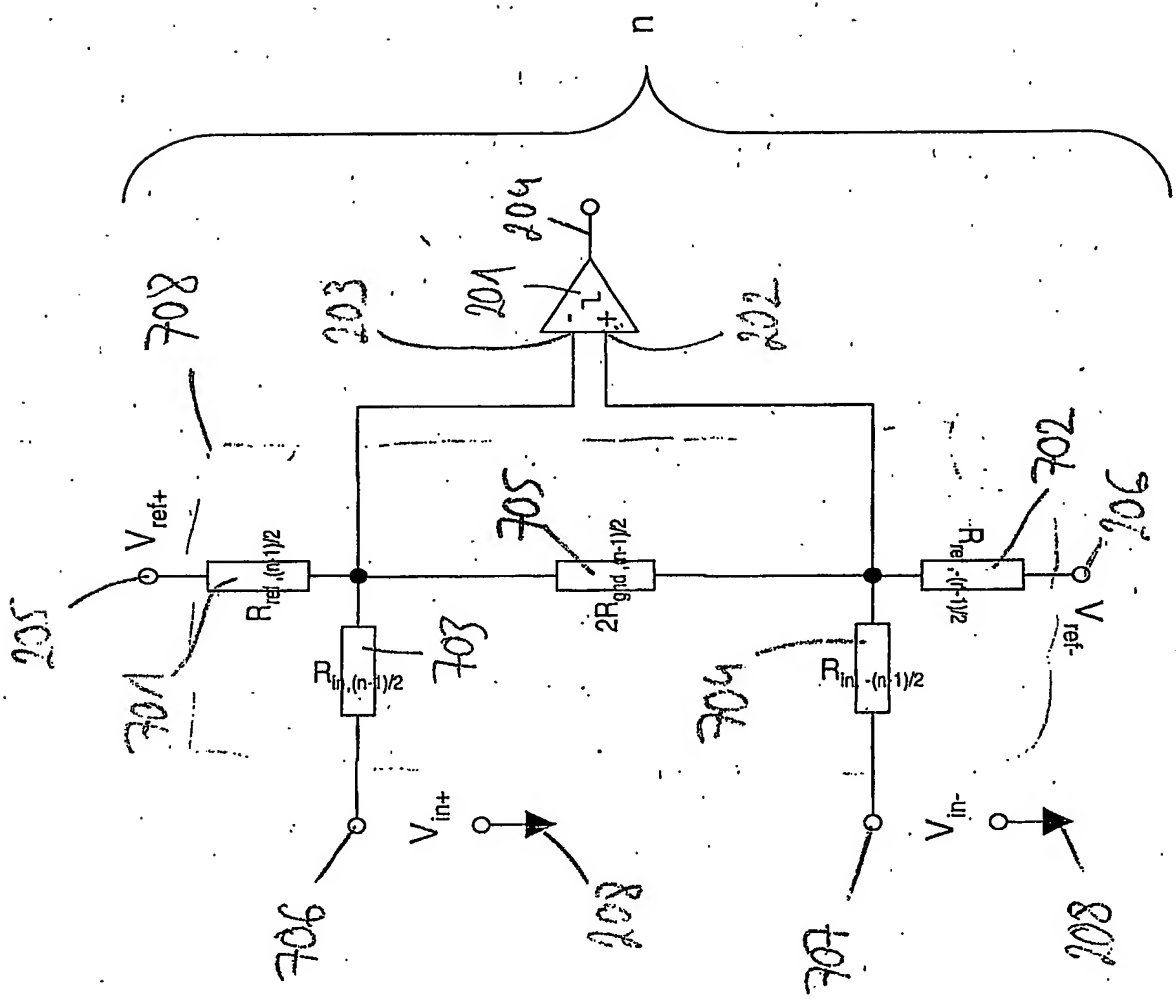
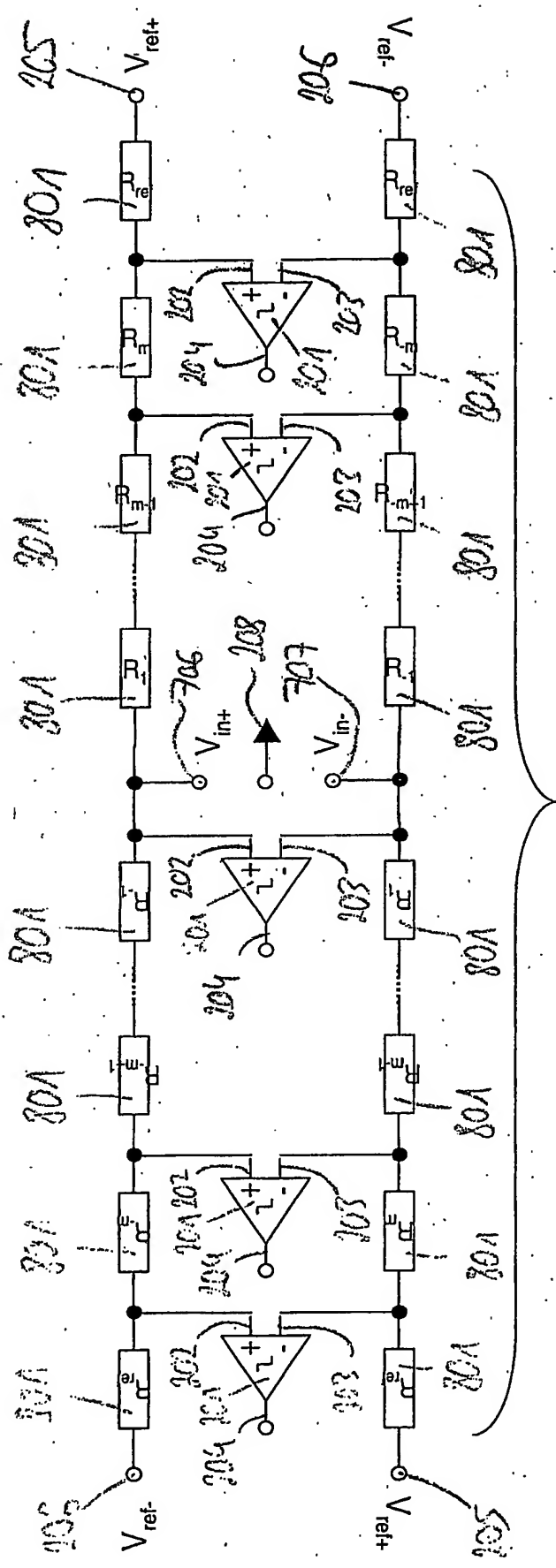


Fig. 8



808

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.